直接衝撃荷重を受ける扁平 RC 梁のファイバー要素解析

(株) 構研エンジニアリング 正会員 ○高橋 浩司 室蘭工業大学 正会員 栗橋 祐介 (株) 構研エンジニアリング 正会員 牛渡 裕二 土木研究所寒地土木研究所 正会員 西 弘明

釧路工業高等専門学校 フェロー 岸 徳光

1. はじめに

本研究では、衝突位置に緩衝材を設置しない扁平 RC 梁の衝撃荷重載荷実験を適切に評価可能な解析手法の確立を目的とし、ファイバー要素を用いた二次元動的骨組解析を実施し、実験結果と比較することでその解析手法の妥当性について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体の概要

写真1 に実験状況写真を示す. 表1 に実験および解析を実施したケースの一覧を示す. 表中の試験体名の第 1 項目は載荷方法($S: \Psi-$)を,第 2 項目は設定落下高さ (以後,単に落下高さ) H (m)を示している. 図1 には,試験体の概要を示している.実験時におけるコンクリートの圧縮強度は 25.2 MPa,軸方向鉄筋の降伏強度は D10 および D13 でそれぞれ 375,377 MPa であった.

2.2 実験方法および計測方法

衝撃載荷実験は、質量 300 kg, 先端直径 200 mm の鋼製重錘を所定の高さから RC 梁のスパン中央部に自由落下させて行った。落下高さは、H=0.5 m, 1.0 m, 1.5 m の 3 ケースである。実験に用いた重錘の底部は、2 mm のテーパを有する球面状となっている。扁平 RC 梁は、浮き上がり防止治具付きの支点上に設置しており、治具全体が回転を許容できる構造になっている。重錘衝撃力の測定は、重錘に内蔵した容量が 1,470 kN, 応答周波数が DC 4.0 kHzのロードセルを用いて行った。載荷点変位は、容量 200 mm, 応答周波数 915 Hz の非接触式レーザ変位計を用いて測定した。実験では、これらの応答波形を広帯域用メモリレコーダを用いて一括収録した。なお、実験終了後には扁平 RC 梁を撮影し、ひび割れ性状を観察している。

2.3 実験後のひび割れ性状

図2には、実験終了時における試験体側面のひび割れ性状を落下高さ毎に示している。なお、圧壊により梁上面のコンクリート片が剥落した部分はハッチングにて表現している。図より、いずれの試験体においても広い範囲に曲げひび割れが発生していることが分かる。また、落下高さが増加すると、梁全域にわたり下縁から生じた曲げひび割れが上縁まで連続している。なお、落下高さ H



写真 1 実験状況

表 1 実験・解析ケース一覧

ケース名	載荷方法	落下高 (m)	入力エネ ルギー (J)
S-0.5	単一	0.5	1,470
S-1.0		1.0	2,940
S-1.5		1.5	4,410

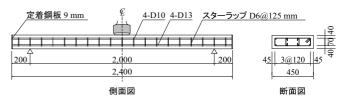


図 1 試験体図

= 1.0 m 以上の場合には梁上面に圧壊が生じ大きく損傷していることが分かる.

3. 解析概要

図3に骨組解析で使用した骨組モデルおよびファイバー断面モデルを示す。断面内の要素分割は一辺の要素幅が20 mm 程度、梁軸方向の要素長は100 mm と設定している。減衰定数は質量比例型減衰項のみを考慮することとし、事前に本解析モデルを用いた固有振動解析を行うことで、鉛直方向の一次曲げ振動モードに対応した固有振動数に対して、h=1.0%と設定した。

衝撃荷重作用方法は、**図3**に示すように節点と重錘の接触面積比で各節点に荷重を入力している。入力荷重には実験で得られた重錘衝撃力波形を用いた。

図2に示すように、落下高さが大きい場合には曲げひ び割れのほか、梁上面に圧壊が生じている。本解析では、

キーワード:扁平 RC 梁,動的骨組解析,ファイバー要素,要素次数,衝撃実験

連絡先:〒065-8510 (株) 構研エンジニアリング 防災施設部 TEL/FAX 011-780-2813/011-785-1501

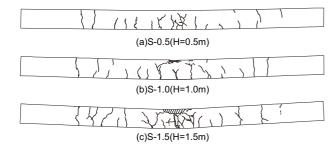


図2 ひび割れ分布図 (側面図)

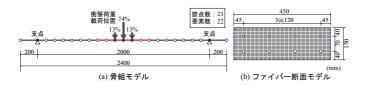


図3 数値解析モデル

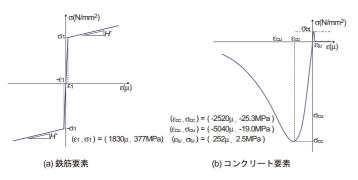


図4 材料構成則モデル

それらの損傷を適切に表現するためにファイバー要素の要素次数を変化させた解析を実施した。すなわち、(1) すべての要素に 2 節点 1 次要素 (曲率分布は要素長で一定)を採用したケース(以後、G1)、(2) すべての要素に 3 節点 2 次要素(曲率分布は要素長さ方向に線形分布)を採用したケース(以後、G2)、さらに載荷点近傍の 6 要素のみ(図3(a) の赤色部分)を 3 節点 2 次要素とし、それ以外は 2 節点 1 次要素を採用したケース(以後、G3)について解析を実施し、要素次数の違いやその適用範囲が耐衝撃挙動に及ぼす影響について検討を行った。

図4には、解析に用いた材料物性モデルとしてコンクリート要素および鉄筋要素に用いた応力-ひずみ関係を示している。コンクリート要素の構成則モデルは、東京大学コンクリート研究室で開発されたコンクリートの除荷・再載荷を含む経路依存型の構成則モデルを採用している。なお、引張側に関しては圧縮強度の 1/10 に達した段階で応力を伝達しないモデルとした。鉄筋要素は降伏後の塑性硬化係数 H'=0.01 E_s とするバイリニア型の等方硬化則を適用した。なお、本数値解析には Engineer's Studio Ver.5.00.04 を使用している。

4. 数值解析結果

図5には各種応答波形を示している。(a)図は実験で得

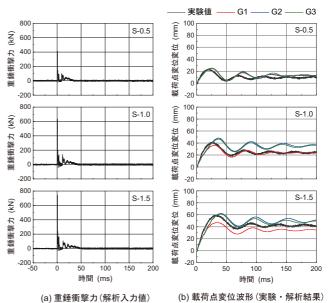


図 5 各種応答波形

られた重錘衝撃力波形 (数値解析に使用した入力荷重), (b)図は載荷点直下における時刻歴変位波形 (実験結果および解析結果) である.

(b) 図より、H=0.5 m 落下 (S-0.5) の場合には要素次数の影響は小さく、いずれも立ち上がりから最大応答値、残留変位まで実験結果を比較的精度よく再現できていることが分かる。H=1.0 m (S-1.0) 以降の場合に着目すると、G1 の載荷点最大変位が実験結果よりも小さく評価されていることが分かる。一方、G2 および G3 は、両者ともにほぼ同様な波形性状を示しており、実験結果と同程度の変位が生じていることが分かる。

以上より、曲げひび割れのみが生じているような比較 的損傷が小さい場合には、要素次数の影響が認められず、 いずれも実験結果を精度よく再現可能であること、梁上 面に圧壊が生じるような損傷の場合には、圧壊が想定さ れる領域に2次要素を適用することで、載荷点変位を精 度よく評価できることが明らかになった。

5. まとめ

本研究の範囲で得られた知見を以下に示す.

- 1) 残留変位や断面欠損を生じないレベルでは,要素次数によらず解析結果は実験結果を比較的精度良く再現可能である.
- 2) 圧壊等の断面欠損を生じるような損傷が生じる場合 の解析では、要素次数の影響が顕著に生じる傾向にある.
- 3) 動的骨組解析においては、2次要素を使用することにより、1次要素を使用した場合に比較して、解析結果は実験結果をより適切に評価可能である。